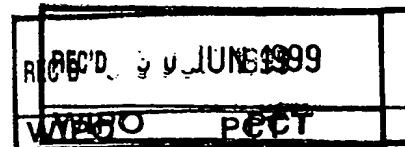


INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

FR 99 / 01394

# BREVET D'INVENTION

09 / 7 1 9 8 2 5

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

*7/1 priority  
P. Walk  
10-4-01*

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

BEST AVAILABLE COPY

Fait à Paris, le 15 JUIN 1999

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

**DOCUMENT DE  
PRIORITÉ**  
PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA RÉGLE  
17.1.a) OU b)

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLESIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS Cédex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04  
Télécopie : 01 42 93 59 30

180

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE**

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

Réservé à l'INPI

DATE DE REMISE DES PIÈCES

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

DÉPARTEMENT DE DÉPÔT

DATE DE DÉPÔT

16 JUN 1998

98 07594 -

16 JUIN 1998

1

NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE  
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

CABINET HARLE ET PHELIP  
7, rue de Madrid  
75008 PARIS  
FRANCE

2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

☒ brevet d'invention

☐ demande divisionnaire

☐ certificat d'utilité

☐ transformation d'une demande  
de brevet européen

demande initiale

☐ brevet d'invention

☐ certificat d'utilité n°

date

n° du pouvoir permanent références du correspondant

téléphone

FR 60320 J

0153046464

Établissement du rapport de recherche

☐ différé

☒ immédiat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance

☐ oui

☐ non

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

Procédé et dispositif de commande de la fabrication d'un composant en couche mince à partir d'une dissociation de gaz

3 DEMANDEUR (S)

n° SIREN

code APE-NAF

Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Forme juridique

Etablissement public

Nationalité (s) Française

Adresse (s) complète (s)

Pays

, rue Michel-Ange  
75794 PARIS CEDEX 16

FRANCE

4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs

☐ oui

☒ non

Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES

☐ requise pour la 1ère fois

☐ requise antérieurement au dépôt : joindre copie de la décision d'admission

6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine

numéro

date de dépôt

nature de la demande

7 DIVISIONS antérieures à la présente demande

n°

date

n°

date

8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE

(nom et qualité du signataire - n° d'inscription)

MICHELET Alain  
C.P.F. b m (92-1176 i)  
Cabinet Harlé & Phélip

SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION

SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI

DIVISION ADMINISTRATIVE DES BREVETS

26bis, rue de Saint-Petersbourg

75800 Paris Cédex 08

Tél. : 01 53 04 53 04 - Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR

(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

9807594

TITRE DE L'INVENTION :

Procédé et dispositif de commande de la fabrication d'un composant en couche mince à partir d'une dissociation de gaz.

LE(S) SOUSSIGNÉ(S)

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

DREVILLON Bernard

15, Cité de la Pépinière  
92140 CLAMART

NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire

PARIS, LE 23 JUIN 1998



MICHELET Alain  
C.P.I. b m (92-1176 i)  
Cabinet Harlé & Phélip

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de commande de la fabrication d'un composant en couche mince à partir d'une dissociation de gaz.

On connaît de tels procédés et dispositifs qui sont utilisés en particulier pour la fabrication des composants semi-conducteurs. De nombreux composants semi-conducteurs impliquent le dépôt, sur un substrat, de couches, souvent nombreuses, dont la composition et l'épaisseur sont essentielles pour assurer la qualité des produits fabriqués.

On a déjà proposé et mis en œuvre des procédés de contrôle, en temps réel, au cours de leur fabrication, de ces couches par ellipsométrie. Jusqu'à présent, les mesures ellipsométriques mises en œuvre font appel à l'ellipsométrie simplifiée, encore appelée classique, visent à mesurer les « paramètres  $\psi$  et  $\Delta$  » caractéristiques de l'échantillon. La surface de l'objet constitue un système, il est éclairé par un faisceau lumineux qui est réfléchi et l'état de polarisation du faisceau réfléchi (éventuellement transmis) est comparé à celui du faisceau incident. La variation du vecteur de polarisation est décrite à partir des coefficients de réflexion  $R_s$  et  $R_p$ , respectivement perpendiculaires et parallèles au plan d'incidence ( $R_s$  et  $R_p$  sont des amplitudes complexes).

Le système est alors généralement caractérisé par les angles  $\psi$  et  $\Delta$  qui sont reliés aux rapports ( $R_p/R_s$ ) par la relation

$$\operatorname{tg} \Psi . \exp (i \Delta)=\left(R_p / R_s\right)$$

Ces méthodes ellipsométriques classiques ont été régulièrement améliorées. On peut, en particulier, se référer au brevet européen EP-0.663.590 qui a pour objet un ellipsomètre spectroscopique modulé. Elles donnent satisfaction lors de mesures sur des couches isotropes présentant des interfaces planes.

Toutefois, dans de nombreux cas, il s'est avéré que ces mesures sont insuffisantes pour caractériser un procédé de fabrication. En particulier, quand le système est anisotrope, on peut constater des couplages entre les modes de polarisation.

Cela provient de ce que, la matrice de Jones représentant les paramètres pris en compte généralement en ellipsométrie classique étant de la forme :

$$\begin{bmatrix} R_p & R_{ps} \\ R_{sp} & R_s \end{bmatrix}$$

5  $R_{ps} R_{sp}$  sont nuls lorsque le système est isotrope et l'un d'eux au moins ne l'est pas lorsqu'il est anisotrope. Dès lors, un système anisotrope est insuffisamment caractérisé par le rapport  $R_p/R_s$ .

On connaît plus généralement l'ellipsométrie de Mueller, qui part de la constatation que l'état polarimétrique d'un flux lumineux est complètement

représenté par un vecteur de dimension 4 appelé vecteur de Stokes  $\begin{bmatrix} I \\ u \\ v \\ w \end{bmatrix}$  et que

10 des modifications, introduites par un système, sont représentées par une matrice, dite matrice de Mueller, de dimension 4 x 4 ayant donc 16 coefficients.

Des procédés et appareils visant à la mesure des 16 coefficients de la matrice de Mueller permettent la caractérisation d'un système de manière générale. Toutefois, on comprend aisément que l'extraction de 16 paramètres lors de mesures ellipsométriques implique le recours à des dispositifs sophistiqués et à un traitement lourd des données, ce qui implique des dispositifs coûteux et des traitements souvent relativement lents. Jusqu'à 15 présent, ces appareils, trop lents et trop lourds n'ont pas pu être utilisés pour le contrôle, en temps réel, de procédés de fabrication ou d'élaboration.

20 La matrice de Mueller étant représentée de manière générale de la façon suivante :

$$M = \begin{bmatrix} m_{00} & m_{01} & m_{02} & m_{03} \\ m_{10} & m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{20} & m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{30} & m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}$$

Il est connu que cette matrice dans le cadre d'un système simple, isotrope, se présente de la façon suivante :

$$M = \begin{bmatrix} 1 & -N & 0 & 0 \\ -N & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C & S \\ 0 & 0 & -S & C \end{bmatrix}$$

où  $N = \cos(2\psi)$ ,  $S = \sin(2\psi) \sin \Delta$  et  $C = \sin(2\psi) \cos \Delta$ .

De même, dans le cas d'un système anisotrope non dépolarisant, il est également possible d'extraire les paramètres de la matrice de Jones à partir de ceux de la matrice de Mueller.

Un système non dépolarisant est un système qui ne modifie pas le taux

de polarisation  $p = 1$  qui est défini pour un vecteur de Stokes  $\begin{bmatrix} I \\ u \\ v \\ w \end{bmatrix}$  par

$$p = \frac{\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}}{I}$$

Un lien est ainsi établi entre les paramètres  $\psi$  et  $\Delta$  utilisés dans la première catégorie de mesures ellipsométriques simplifiées présentées plus haut et les paramètres de la matrice de Mueller présentés dans cette deuxième catégorie de méthode de mesures.

L'utilisation de la mesure cinétique des angles ellipsométriques  $\psi$  et  $\Delta$  pour contrôler en temps réel un procédé d'élaboration est connue et par exemple décrite dans les brevets américains 5.277.747 du 11/01/94 et 5.131.752 du 21/07/92. Toutefois, cette méthode ne peut être utilisée en dehors du champ d'application de l'ellipsométrie conventionnelle qui est définie par l'absence de phénomènes de dépolarisation ou d'anisotropie au niveau de l'objet mesuré ou contrôlé. En particulier, il a été constaté que certains systèmes ne permettent pas la réalisation de mesures ellipsométriques significatives simplifiées, telles que celles correspondant à des systèmes isotropes présentant des interfaces planes, caractérisés simplement par les paramètres  $\psi$  et  $\Delta$ .

Or, beaucoup de procédés d'élaboration de couches minces rendent inévitable la prise en compte de phénomènes de dépolarisation de la lumière,

par exemple le dépôt de structures optiques sur des substrats transparents épais (verre, polymères) induisant des pertes de cohérence. Les circuits micro-électroniques actuels présentent systématiquement des motifs anisotropes à l'échelle submicronique et induisent des phénomènes de diffraction (comparables à un réseau) et de dépolarisation (rugosités de surface de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde).

L'extension des méthodes ellipsométriques conventionnelles au contrôle des procédés de gravure en micro-électronique a été tentée, de manière essentiellement empirique, sans tenir compte des phénomènes de diffraction et de dépolarisation (brevet européen 0.653.621 A1 ; S. Vallon et al., J. Vac. Sci. Technol. A 15, 1997, p. 865 ; H. L. MAYNARD et al., J. Vac. Sci. Technol. B 15, 1997, p. 109). De telles méthodes, même si elles peuvent apparaître satisfaisantes dans des cas très particuliers, ne peuvent en aucun cas être généralisées. D'ailleurs, elles visent souvent à identifier une fin d'attaque au moyen d'une variation brutale des angles ellipsométriques (liée à l'apparition d'une couche sous-jacente). De telles signatures ne peuvent être généralisées à d'autres procédés de gravure. En particulier, de telles méthodes empiriques ne sont pas utilisables dans le cas de procédés de gravure homogène qui ne donnent pas lieu à l'apparition de couches sous-jacentes. C'est par exemple le cas lors de la constitution de tranchées d'isolation entre transistors.

Le but de l'invention est de proposer un procédé et un dispositif de commande de fabrication d'un composant en couche mince à partir d'une dissociation de gaz, applicable dans des situations où les mesures ellipsométriques classiques ne sont pas possibles.

L'invention concerne donc un procédé et un dispositif de commande de la fabrication d'un composant en couche mince à partir d'une dissociation de gaz dans lequel :

- on fait une mesure ellipsométrique sur l'objet représenté par sa matrice de Mueller,
- on commande, à l'aide du panneau de gaz, la fabrication en fonction de la mesure ellipsométrique.

Selon l'invention, on détermine préalablement certains paramètres au moins, liés à la matrice de Mueller, adaptés à la caractérisation de la fabrication, et seuls ces paramètres sont extraits de la mesure ellipsométrique, lesdits



paramètres adaptés à la caractérisation de la fabrication sont deux paramètres différents des angles ellipsométriques  $\psi$  et  $\Delta$ .

En effet, il a été imaginé et vérifié que même lorsque l'ellipsométrie classique n'est pas applicable car les mesures des angles  $\psi$  et  $\Delta$  conduisent à des imprécisions et ne permettent pas le contrôle d'un procédé de commande de la fabrication d'un objet particulier, il reste possible de déterminer certains paramètres liés à la matrice de Mueller, utilisables pour la caractérisation de la fabrication.

A cet effet, selon l'invention, on peut utiliser l'ensemble des paramètres de la matrice de Mueller, pour contrôler la fabrication.

Dans d'autres cas, on étudiera tout d'abord le procédé de fabrication en mesurant l'ensemble des paramètres de la matrice de Mueller à l'aide d'un ellipsomètre de Mueller. L'examen des résultats ainsi obtenus permet d'extraire certains paramètres de cette matrice qui peuvent être soit directement des coefficients de celle-ci, soit des combinaisons de ces coefficients qui sont adaptées à la caractérisation de la fabrication, sont en nombre inférieur aux coefficients de la matrice elle-même, et sont plus facilement accessibles que l'ensemble de ces coefficients de la matrice de Mueller. Une fois, ces paramètres déterminés, eux seuls sont alors utilisés pour la caractérisation de la fabrication dans son utilisation courante.

La détermination de ces paramètres peut également résulter du savoir-faire des opérateurs, sans qu'il leur soit nécessaire de recourir à une mesure préalable de l'ensemble des coefficients de la matrice de Mueller.

Dans différents modes de réalisation préférés, le procédé de l'invention présente les caractéristiques suivantes présentant chacune leurs avantages particuliers et susceptibles d'être utilisées selon de nombreuses combinaisons techniquement possibles :

- les paramètres adaptés à la caractérisation de la fabrication sont une combinaison linéaire des lignes de la matrice de Mueller ;
- les paramètres adaptés à la caractérisation de la fabrication sont une combinaison linéaire des colonnes de la matrice de Mueller ;
- l'objet fabriqué est un composant semi-conducteur ;
- on contrôle le dépôt d'une couche ;
- on contrôle la gravure d'une couche ;
- on contrôle la composition de la couche ;

2  
3  
4  
5  
6  
7

- on contrôle l'épaisseur de la couche ;
  - le panneau de gaz alimente un réacteur à plasma ;
  - le panneau de gaz contrôle des débits de gaz ;
  - les gaz dont les débits sont contrôlés, font partie de l'ensemble
- 5 constitué par l'azote  $N_2$ , l'ammoniaque  $NH_3$ , l'hydrogène  $H_2$ , le méthane  $CH_4$ , l'hélium  $He$ , le silane  $SiH_4$ , l'oxygène  $O_2$ , l'oxyde d'azote  $N_2O$ .

L'invention concerne également une installation permettant la mise en œuvre de ces différents procédés.

De préférence, cette installation comporte :

- 10
- un modulateur couplé en entrée et/ou
  - un polarimètre en sortie.

L'invention sera décrite ci-après plus en détail, en référence aux dessins dans lesquels :

- la Figure 1 est une représentation simplifiée d'une installation de
- 15 fabrication mettant en œuvre l'invention. Elle comprend un réacteur à plasma, un système d'injection de gaz et un ellipsomètre à modulation de phase ;
- la Figure 2 schématise un bras d'entrée utilisable dans certains modes de réalisation de l'invention ;
  - la Figure 3 montre la concrétisation d'un bras d'entrée de la Figure 2 ;
- 20
- la Figure 4 représente un bras de sortie utilisable dans certains modes de réalisation de l'invention.

Dans un premier mode de réalisation de l'invention, on considère le contrôle sur un système anisotrope n'introduisant pas de dépolarisation.

25 L'effet de l'échantillon est alors représenté par une matrice de Jones de la forme :

$$\begin{bmatrix} R_p & R_{ps} \\ R_{sp} & R_s \end{bmatrix}$$

30 L'ellipsométrie à modulation de phase classique peut alors être mise en œuvre. On sait que l'intensité mesurée, en présence d'un modulateur (généralement photoélastique) produisant un déphasage  $\delta(t)$  est :

$$I = I_0 + I_c \cos \delta(t) + I_s \sin \delta(t)$$

avec  $\delta(t) = a \sin \omega t$  au 1<sup>er</sup> ordre

et que

$$5 \quad \frac{R_p}{R_s} = \tan \Psi e^{i\Delta}, \frac{R_{sp}}{R_s} = \tan \Psi' e^{i\Delta'}, \frac{R_{ps}}{R_s} = \tan \Psi'' e^{i\Delta''}$$

on obtient alors :

avec  $A = 90^\circ, M_o = 0^\circ$

$$10 \quad \begin{aligned} I_o &= 1 + \tan^2 \psi'' \\ I_c &= 2 \tan \psi'' \cos \Delta'' \\ I_s &= 2 \tan \psi'' \sin \Delta'' \end{aligned}$$

avec  $A = 90^\circ, M_o = 90^\circ$

$$15 \quad \begin{aligned} I_o &= 1 + \tan^2 \psi'' \\ I_c &= -2 \tan \psi'' \cos \Delta'' \\ I_s &= -2 \tan \psi'' \sin \Delta'' \end{aligned}$$

avec  $A = 0^\circ, M_o = 0^\circ$

$$20 \quad \begin{aligned} I_o &= \tan^2 \psi + \tan^2 \psi' \\ I_c &= 2 \tan \psi' \tan \psi \cos \Delta' \\ I_s &= 2 \tan \psi' \tan \psi \sin \Delta' \end{aligned}$$

avec  $A = 0^\circ, M_o = 90^\circ$

$$25 \quad \begin{aligned} I_o &= \tan^2 \psi + \tan^2 \psi' \\ I_c &= -2 \tan \psi' \tan \psi \cos \Delta' \\ I_s &= -2 \tan \psi' \tan \psi \sin \Delta' \end{aligned}$$

30 A et  $M_o$  représentent respectivement les orientations de l'analyseur et du modulateur par rapport au plan d'incidence.

Ces coefficients peuvent être mesurés à une longueur d'onde fixe ou à plusieurs. Le contrôle s'effectue en temps réel en comparant les trajectoires des paramètres ou combinaison de paramètres mesurés à des valeurs de consigne préalablement enregistrées ou simulées à l'aide de modèles théoriques.

Dans ce premier mode de réalisation, la mesure du système peut être effectuée à partir d'un ellipsomètre à modulation de phase représenté sur la Figure 1. Il comprend un modulateur de phase (bras d'entrée) et un polariseur (bras de sortie). On propose, alors, de contrôler en temps réel un procédé d'élaboration de couches minces (dépôt ou gravure) à partir de la mesure cinétique de composants de la matrice de Mueller du système, ou de combinaisons ou fonctions de ces éléments. Il permet également de caractériser un milieu anisotrope non-dépolarisant selon la méthode décrite plus haut.

Dans un deuxième mode de réalisation de l'invention, on considère le contrôle sur un système dépolarisant. La représentation du système par une matrice de Jones est alors insuffisante et il faut recourir à la matrice de Mueller.

Dans la mise en œuvre du deuxième mode de réalisation, à la différence d'un ellipsomètre à modulation de phase « conventionnel » comprenant un modulateur de phase simple en entrée et un analyseur en sortie, l'ellipsomètre comporte un générateur d'état de polarisation en entrée et/ou un polarimètre en sortie.

Le bras d'entrée de l'ellipsomètre est schématisé sur la Figure 2. Il comprend un polariseur linéaire 120 et un modulateur couplé 106 comportant deux modulateurs de phase 121 et 122 et un système de couplage 123 du type polariseur partiel et déphaseur. Les deux modulateurs de phase 121 et 122 ont une même orientation et le système de couplage 123 est interposé entre eux et transmet le faisceau incident 110 du premier modulateur de phase 121 vers le second modulateur de phase 122.

Préférentiellement, les orientations des différents éléments sont les suivants. Le faisceau incident 110 ayant une direction et un sens de propagation et un plan incident étant défini à partir de cette direction de propagation et de l'échantillon 2, on forme un repère comportant un premier axe  $x$  perpendiculaire à la direction de propagation et dans le plan d'incidence, un deuxième axe  $y$  perpendiculaire au plan d'incidence et un troisième axe parallèle à la direction de propagation et orienté dans le même sens, ce repère étant direct. Le polariseur 120 est alors un polariseur parfait orienté selon l'axe  $y$ . Les deux modulateurs de phase 121 et 122 sont identiques et orientés dans le plan  $x$ - $y$  selon des directions formant respectivement avec l'axe  $y$ , des angles  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$ . Les angles  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  sont avantageusement identiques et

préférentiellement égaux à  $\pi/4$ . Le système de couplage 123 est orienté selon l'axe x.

En fonctionnement, le faisceau incident 110 est polarisé linéairement par le polariseur 120, puis subit une double modulation couplée du fait des modulateurs de phase 121, 122 et du système de couplage 123. Le système de couplage 123 assure deux fonctions : une polarisation partielle (polariseur imparfait) qui module l'intensité moyenne I et un déphasage qui mêle les composants U et V du vecteur de Stokes S.

Selon une réalisation particulière de ce bras d'entrée, représentée sur la Figure 3, un polariseur 120 tel que celui commercialisé sous le nom de « polariseur de Glan Thomson » polarisant linéairement le faisceau incident 110 et un modulateur couplé 106 comportant un unique modulateur de phase 121 et un système de couplage 161 du type polariseur partiel et déphaseur fonctionnant en réflexion. Le modulateur de phase 121 est interposé entre le polariseur 120 et le système de couplage 161, de telle sorte qu'il produit une première modulation du faisceau incident 110 polarisé et l'envoie vers le système de couplage 161, ce dernier renvoyant le faisceau incident 110 vers le modulateur de phase 121 qui produit une seconde modulation. Le modulateur couplé 106 comprend également un miroir 162 disposé entre le polariseur 120 et le modulateur 121 qui réfléchit le faisceau 111 modulé deux fois vers l'échantillon.

Ainsi, le polariseur 120 est orienté selon un axe y et le modulateur 121 est orienté dans un plan x-y selon une direction formant un angle  $\alpha_3$  avec l'axe x,  $\alpha_3$  étant égal à  $45^\circ$ . Le système de couplage 161 est quant à lui orienté selon l'axe x, de manière à permettre un retour du faisceau incident 110 parallèlement à l'aller. Le miroir 162 renvoie avantageusement le faisceau 111 selon l'axe y perpendiculaire à x.

Le modulateur 121 est avantageusement un modulateur électro-optique (cellule de Pockels). Un tel modulateur 121 permet une commande externe de déphasage et autorise une bande passante dépassant 100 mHz.

Le modulateur de phase 121 peut également être un modulateur photoélastique, on obtient alors une gamme de longueurs d'onde étendue et une grande fenêtre optique.

Avantageusement, la source lumineuse émet des faisceaux laser 113, 114 à plusieurs longueurs d'onde. L'ellipsomètre comprend alors un miroir 126 mobile permettant de sélectionner la longueur d'onde désirée.

Le bras de sortie représenté à la Figure 4 comprend avantageusement un séparateur 130 de faisceaux séparant le faisceau de mesure en au moins quatre faisceaux secondaires 116-119. Il comprend également des analyseurs de polarisation 136-139 donnant à chacun de ces faisceaux secondaires 116-119, un état de polarisation distinct et des photodétecteurs 131-134 détectant respectivement les intensités  $I_1$  à  $I_4$  des faisceaux secondaires 116-119. A titre d'exemple, les faisceaux secondaires 116-119 étant au nombre de quatre, les analyseurs de polarisation 136-139 associés sont respectivement rien, un polariseur linéaire à  $90^\circ$ , un polariseur linéaire à  $-45^\circ$  et l'association d'une lame quart d'onde à  $45^\circ$  et d'un polariseur à  $90^\circ$ .

Cet ellipsomètre de Mueller permet le contrôle des procédés selon l'invention. Toutefois, comme cela a été indiqué plus haut, de nombreux procédés peuvent être contrôlés avec un montage ellipsométrique simplifié, dit intermédiaire. On peut ainsi, par exemple, utiliser un modulateur couplé dans le bras d'entrée ou encore un modulateur de phase unique en entrée et un polarimètre en sortie, chacune de ces configurations permettant la mesure de plus de deux coefficients liés à la matrice de Mueller.

On propose alors de contrôler en temps réel un procédé d'élaboration de couches minces (dépôt ou gravure) à partir de la mesure cinétique de combinaisons ou fonctions de ces éléments, autres que les deux angles ellipsométriques « conventionnels »  $\psi$  et  $\Delta$  (ou de combinaisons ou fonctions trigonométriques de ceux-ci).

On peut ainsi, dans ce deuxième mode de réalisation, en utilisant des configurations intermédiaires, obtenir les mesures suivantes :

- avec seulement un modulateur couplé en entrée, c'est-à-dire en mesurant directement l'énergie du flux lumineux réfléchi par l'échantillon, on obtient les coefficients de la 1<sup>ère</sup> ligne de la matrice de Mueller M ;

- avec un modulateur couplé en entrée et un analyseur en sortie, on peut obtenir des combinaisons linéaires des lignes de la matrice de Mueller M, par exemple, la somme des deux premières lignes lorsque l'analyseur est orienté sous l'angle  $A = 0$ , et la somme de la première et de la troisième lorsque son orientation est  $A = 45^\circ$  ;

- avec un modulateur simple en entrée et un polarimètre en sortie, on obtient des combinaisons linéaires des colonnes de la matrice de Mueller M dépendant de l'orientation du modulateur d'entrée.

Dans le deuxième mode de réalisation de l'invention, on peut aussi utiliser un ellipsomètre à modulation de phase classique qui peut permettre la mesure simultanée de deux éléments de la matrice de Mueller de la manière suivante : la mesure de la matrice de Mueller normalisée ( $m_{00} = 1$ , les 15 autres paramètres de la matrice sont inconnus) par ellipsométrie conventionnelle (on suppose partout  $P = 45^\circ$ ), on obtient :

1. Dans la configuration classique Polariseur-Modulateur-Echantillon-Analyseur (AMSP), on peut mesurer les trois premières lignes de la matrice (donc  $12-1 = 11$  paramètres), en combinant les orientations du modulateur  $M_0 = 0^\circ$  (ou  $M_0 = 90^\circ$ ) avec les quatre orientations de l'analyseur ( $A = 0^\circ, 90^\circ, 45^\circ, -45^\circ$ ) d'une part, et  $M_0 = 45^\circ$  (ou  $-45^\circ$ ) d'autre part. Cela fait donc 8 configurations de mesure au total (chaque configuration nous apporte deux grandeurs mesurées).

2. En inversant le sens de propagation de la lumière, ce qui correspond à de très nombreuses réalisations actuelles des ellipsomètres (Polariseur-Echantillon-Modulateur-Analyseur), on est dans la configuration ASMP dans laquelle on est capable de mesurer le transpose de la matrice  $M$ , c'est-à-dire les trois premières colonnes (11 éléments) par le même nombre de configurations de mesure (8). Cependant, si on a déjà fait les mesures dans 1., il suffira de 4 configurations supplémentaires (et non plus huit), par exemple à  $M_0 = 0^\circ$  (ou  $90^\circ$ ) pour compléter la matrice jusqu'à 14 éléments mesurés. En conclusion, on peut mesurer tous les éléments sauf un (14 au total) de la matrice  $M$  normalisée en passant par 12 configurations et en inversant une fois le sens du faisceau (bien sûr, si l'on pouvait mesurer la réflectivité en plus, on aurait pu ne pas normaliser la matrice et ainsi déterminer 15 des 16 éléments, mais il y aura toujours un élément manquant  $m_{33}$ ). La surdétermination des paramètres (24 grandeurs mesurées pour 14 éléments) peut être utilisée pour former des moyennes.

Les procédés d'élaboration visés ici sont essentiellement le dépôt plasma de couches minces et de structures multicouches ou à gradients de composition (filtres optiques), ou bien la gravure (plasma) de composants micro-électroniques. Plus généralement, la méthode de contrôle proposée peut s'appliquer à d'autres procédés d'élaboration utilisant des gaz ou des composés métallorganiques (CVD : Chemical Vapor Deposition et MOCVD) ou se généraliser à des procédés basés sur l'utilisation de sources ou cibles solides

(pulvérisation cathodique, évaporation sous vide, épitaxie par jet moléculaire...). Dans ce dernier cas, la contre-réaction à partir des mesures ellipsométriques n'est pas effectuée sur une gestion de gaz, mais sur d'autres paramètres de contrôle (courants, température...).

5 L'installation de fabrication comprend une chambre à plasma 1 dans laquelle est placé le substrat 2 qui est, par exemple, l'élément d'origine de la plaquette de semi-conducteurs à fabriquer. Ce substrat est fixé sur un support 3. La pression dans la chambre à plasma 1 est obtenue par l'effet de la pompe 4, reliée à celle-ci par la canalisation 5. Le panneau de gaz 6 alimente par la  
10 canalisation 7, la chambre à plasma 1. Il est relié à des alimentations de gaz, respectivement 61 en azote  $N_2$ , 62 en ammoniacque  $NH_3$ , 63 en hydrogène  $H_2$ , 64 en méthane  $CH_4$ , 65 en hélium  $He$ , 66 en silane  $SiH_4$ , 67 en oxygène  $O_2$  ou en oxyde d'azote  $N_2O$ .

Les entrées 62 à 65 sont chacune reliées à la canalisation 7 par  
15 l'intermédiaire d'un débitmètre 621, 631, 641, 651 et d'une vanne 622, 632, 642, 652.

L'alimentation en silane 66 est reliée à deux débitmètres 661 et 671 et deux vannes 662 et 672.

Une évacuation 8 vers les égouts permet d'assurer le bon fonctionnement  
20 de ce panneau de gaz.

Le développement des couches sur le substrat 2 dans la chambre à plasma 1 est contrôlé à l'aide d'un ellipsomètre 9 composé d'une tête d'émission 91 et d'un ensemble de réception 92.

La tête d'émission 91 comporte une source 911 reliée à une fibre optique  
25 912 à un ensemble constitué d'un polariseur 913 et d'un modulateur de phase 914.

L'ensemble de réception 92 comporte un polariseur-analyseur 921 relié par une fibre optique 922 à un monochromateur 923 suivi d'un photodétecteur 924.

30 L'ellipsomètre 9 est contrôlé par une unité de traitement 93 commandée par un ordinateur 94.

L'unité de traitement 93 commande le polariseur 913 et le modulateur 914, respectivement par les liaisons électriques 931 et 932, et reçoit le signal du détecteur 924 par la liaison électrique 934. Sa liaison avec l'ordinateur 94 est  
35 assurée par la connexion électrique 95.



Le panneau de gaz 6 est contrôlé par une unité de traitement 10 à laquelle elle est reliée par les connexions 11. Cette unité de traitement 10 commande également par l'intermédiaire de la liaison 12, la pompe 4 et/ou la puissance du générateur de plasma. Elle est commandée par un micro-ordinateur 13 qui est  
5 lui-même relié au micro-ordinateur 94 par une liaison 14.

Ainsi, l'ellipsomètre 9 permet d'obtenir au travers de l'unité de traitement 93 et du micro-ordinateur 94, les caractéristiques physiques et chimiques de la couche en cours de dépôt sur le substrat 2. Ces informations sont comparées aux caractéristiques du produit à fabriquer (et éventuellement à  
10 leur variation en fonction du temps) qui ont été préalablement mises en mémoire dans l'ordinateur 94.

Le résultat de cette comparaison commande par l'intermédiaire de la connexion 14, les instructions fournies par l'ordinateur 13 à l'unité de traitement 10 qui détermine la nature et la concentration des gaz introduits par  
15 le panneau de contrôle 6 dans la chambre à plasma 2.

On réalise ainsi un contrôle complet du processus de fabrication et donc une optimisation des produits ainsi fabriqués.

Comme il a été indiqué plus haut, la mesure des paramètres  $\psi$  et  $\Delta$  traditionnellement accessible par les mesures ellipsométriques simplifiées se  
20 révèle souvent insuffisante ou mal adaptée, de telle sorte qu'il a été souvent nécessaire de prévoir dans les dispositifs de l'art antérieur, sur le substrat 2, un emplacement spécialement destiné à des mesures de contrôle et perdu pour la fabrication.

L'unité de traitement 93 et l'ordinateur 94 sont programmés de telle sorte  
25 que le contrôle des propriétés de la couche déposée sur l'échantillon 2 puisse être réalisé par un petit nombre de paramètres préalablement déterminés.

### REVENDEICATIONS

1. Procédé de commande de la fabrication d'un objet contrôlée par un panneau de gaz, dans lequel :

5       - on fait une mesure ellipsométrique sur l'objet représenté par sa matrice de Mueller,

      - on commande, à l'aide du panneau de gaz, la fabrication en fonction de la mesure ellipsométrique,

      caractérisé en ce qu'on détermine préalablement certains paramètres de la matrice de Mueller, adaptés à la caractérisation de la fabrication, et que seuls  
10       ces paramètres sont extraits de la mesure ellipsométrique pendant la fabrication, lesdits paramètres étant deux paramètres différents des angles ellipsométriques  $\psi$  et  $\Delta$  et des fonctions trigonométriques de celle-ci.

2. Procédé de commande de la fabrication d'un objet contrôlée par un panneau de gaz selon la revendication 1, caractérisé en ce que les paramètres  
15       adaptés à la caractérisation de la fabrication sont une combinaison linéaire des lignes de la matrice de Mueller.

3. Procédé de commande de la fabrication d'un objet contrôlée par un panneau de gaz selon la revendication 1, caractérisé en ce que les paramètres  
20       adaptés à la caractérisation de la fabrication sont une combinaison linéaire des colonnes de la matrice de Mueller.

4. Procédé de commande de la fabrication d'un objet contrôlée par un panneau de gaz selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'objet fabriqué est un composant semi-conducteur.

5. Procédé de commande de la fabrication d'un objet contrôlée par un  
25       panneau de gaz selon la revendication 4, caractérisé en ce que la mesure ellipsométrique caractérise une couche pendant son dépôt.

6. Procédé de commande de la fabrication d'un objet contrôlée par un panneau de gaz selon la revendication 4, caractérisé en ce que la mesure ellipsométrique caractérise une couche pendant sa gravure.

30       7. Procédé de commande de la fabrication d'un objet contrôlée par un panneau de gaz selon l'une des revendications 5 et 6, caractérisé en ce que la mesure ellipsométrique caractérise la composition de la couche.

8. Procédé de commande de la fabrication d'un objet contrôlée par un  
35       panneau de gaz selon l'une des revendications 5 et 6, caractérisé en ce que la mesure ellipsométrique caractérise l'épaisseur de la couche.

9. Procédé de commande de la fabrication d'un objet contrôlée par un panneau de gaz selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le panneau de gaz alimente un réacteur à plasma.

5 10. Procédé de commande de la fabrication d'un objet contrôlée par un panneau de gaz selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le panneau de gaz contrôle des débits de gaz.

10 11. Installation de fabrication d'un objet contrôlée par un panneau de gaz comportant un ellipsomètre permettant la réalisation d'une mesure sur l'objet qui est représenté par sa matrice de Mueller, un panneau de gaz commandant la fabrication de l'objet,

caractérisée en ce que l'ellipsomètre mesure, en temps réel, des paramètres préalablement déterminés, adaptés à la caractérisation de la fabrication, lesdits paramètres étant deux paramètres différents des angles ellipsométriques  $\psi$  et  $\Delta$  et des fonctions trigonométriques de celle-ci.

15 12. Installation de fabrication d'un objet contrôlée par un panneau de gaz comportant un ellipsomètre selon la revendication 11, caractérisée en ce qu'il comporte un modulateur couplé en entrée.

20 13. Installation de fabrication d'un objet contrôlée par un panneau de gaz comportant un ellipsomètre selon l'une des revendications 11 et 12, caractérisée en ce qu'il comporte un polarimètre en sortie.

A<sup>3</sup>

Le Mandataire  
Cabinet HARLÉ & PHÉLIP

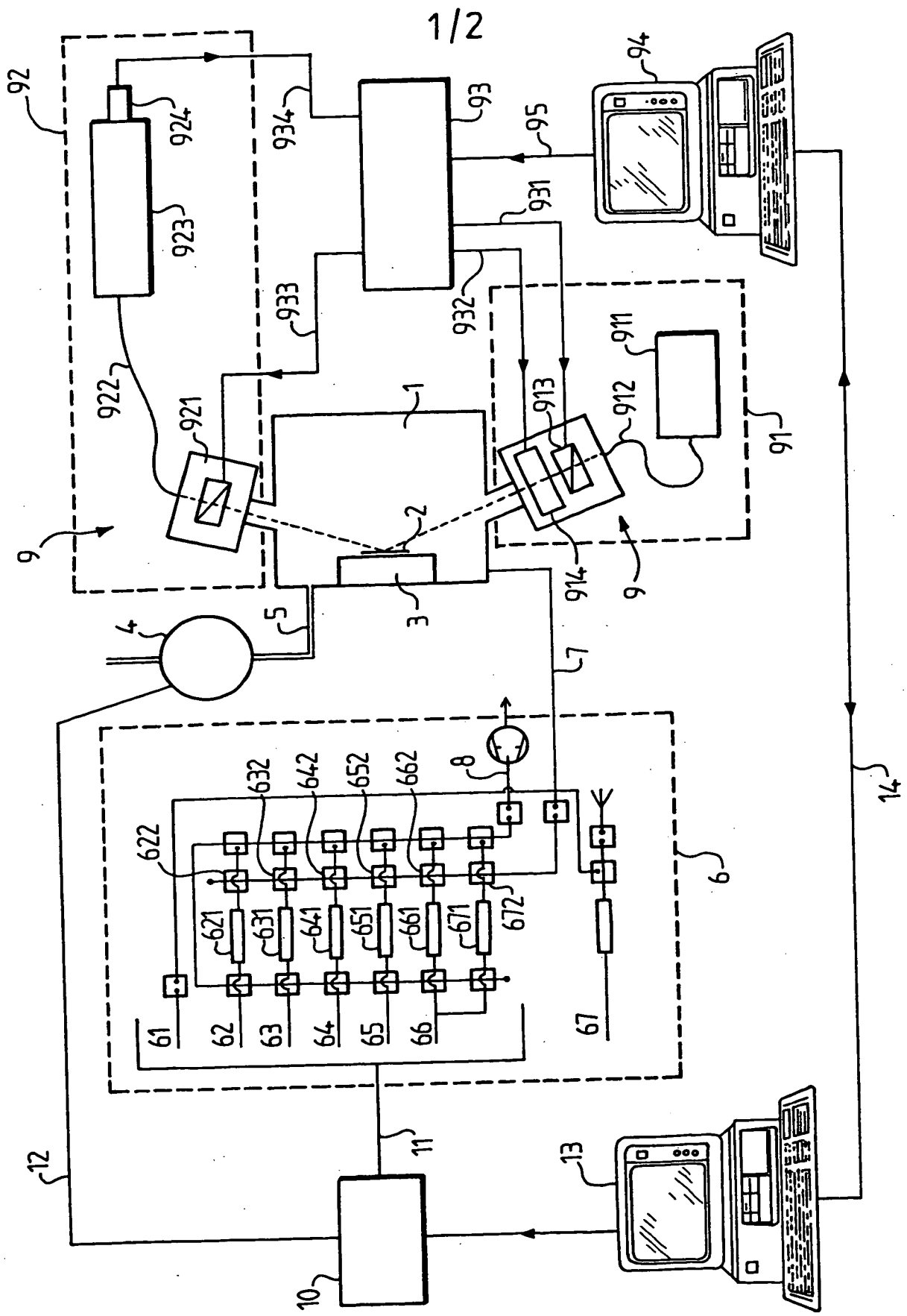


FIG.1

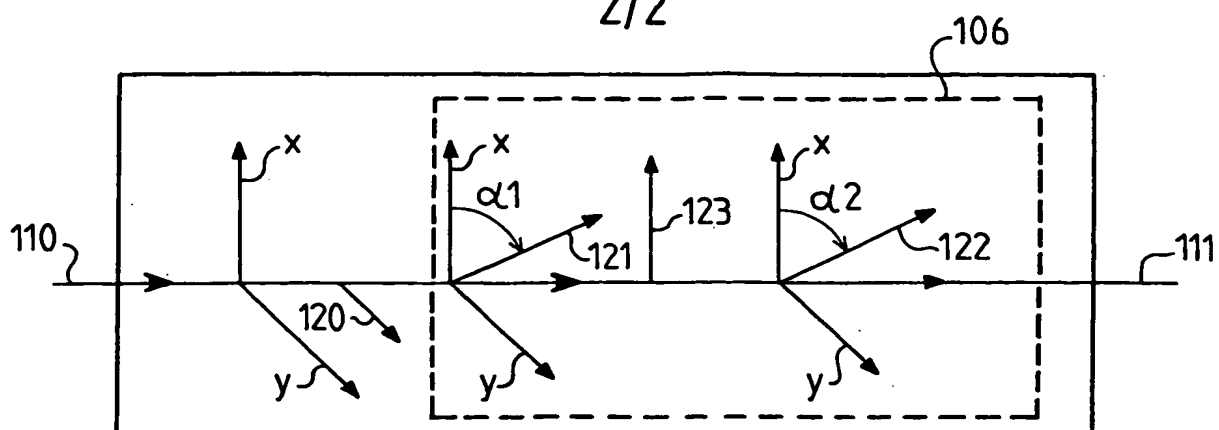


FIG. 2

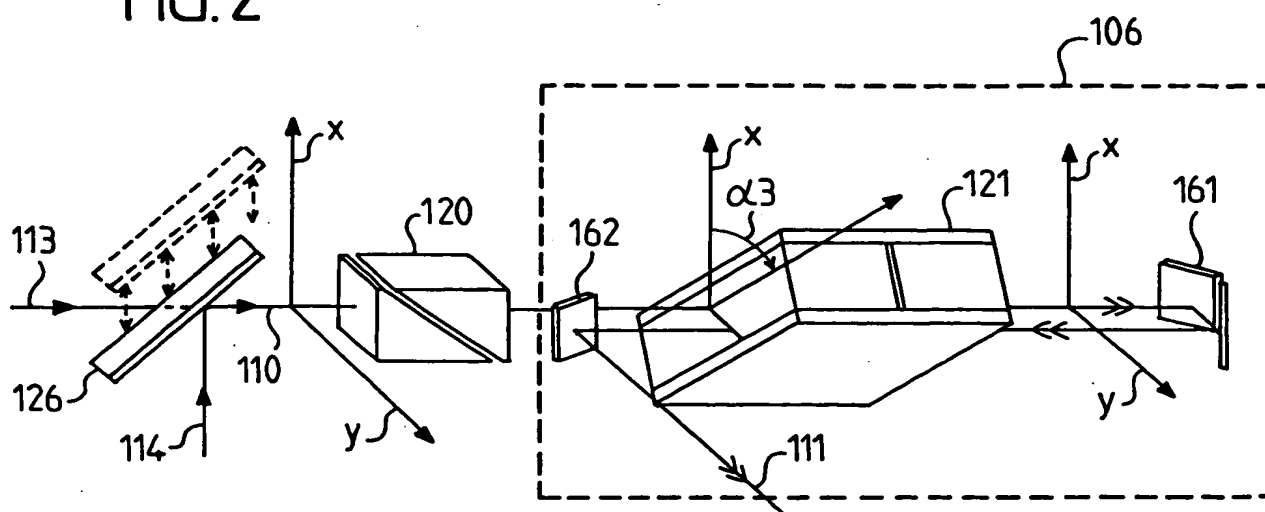


FIG.3

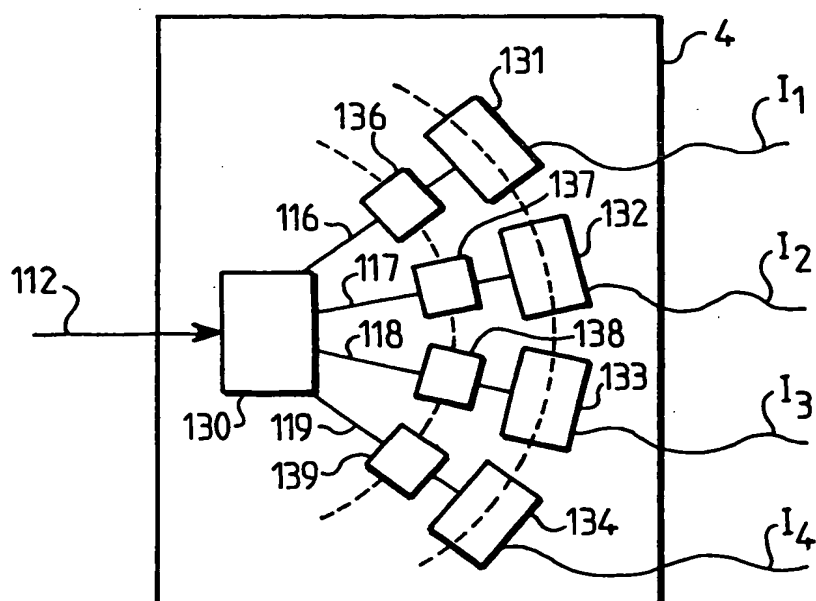


FIG. 4

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**